

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-179116

(43) 公開日 平成9年(1997)7月11日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/1335	5 2 0		G 0 2 F 1/1335	5 2 0
1/1343			1/1343	

審査請求 有 請求項の数 7 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平7-333226

(22) 出願日 平成7年(1995)12月21日

(71) 出願人 000003193

凸版印刷株式会社

東京都台東区台東1丁目5番1号

(72) 発明者 堀吉 健蔵

東京都台東区台東1丁目5番1号 凸版印刷株式会社内

(72) 発明者 木村 幸弘

東京都台東区台東1丁目5番1号 凸版印刷株式会社内

(72) 発明者 古賀 修

東京都台東区台東1丁目5番1号 凸版印刷株式会社内

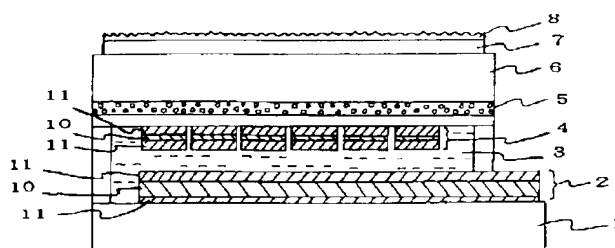
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 液晶表示装置

(57) 【要約】

【課題】 反射電極の反射率が高く、かつ、光源の位置によらず視野角を拡大すると共に、電極の低抵抗化および、透明電極の高透過率化かつ低反射率化によって表示品位を向上させた反射型の液晶表示装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 透明基板と背面基板の少なくとも向かい合う面側に、銀系薄膜を透明酸化物薄膜で挟持する3層構成の電極を有する液晶表示装置において、前記透明基板上の電極の銀系薄膜の膜厚が7nm~20nmの範囲にあり、かつ、背面基板上の電極の銀系薄膜の膜厚が50nmより厚く形成されていることを特徴とする液晶表示装置。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】透明基板と背面基板の少なくとも向かい合う側面に、銀系薄膜を透明酸化物質薄膜で挟持する3層構成の電極を有する液晶表示装置において、前記透明基板上の電極の銀系薄膜の膜厚が7nm～20nmの範囲にあり、かつ、背面基板上の電極の銀系薄膜の膜厚が50nmより厚く形成されていることを特徴とする液晶表示装置。

【請求項2】上記背面基板上の銀系薄膜の膜厚が75nm～200nmの範囲にあることを特徴とする請求項1に記載の液晶表示装置。

【請求項3】上記透明基板と該基板上の電極との間に、樹脂および、樹脂と屈折率の異なる透明顔料によりなる光の散乱膜が挿入された構成であることを特徴とする請求項1または2に記載の液晶表示装置。

【請求項4】上記透明顔料が酸化セリウムであることを特徴とする請求項3に記載の液晶表示装置。

【請求項5】上記銀系薄膜が、3at%（原子パーセント）以下の異種元素を含有せしめた銀合金であることを特徴とする請求項1、2、3または4に記載の液晶表示装置。

【請求項6】上記透明酸化物質薄膜の基材が、酸化セリウムと酸化インジウムとの混合酸化物質であることを特徴とする請求項1、2、3、4または5に記載の液晶表示装置。

【請求項7】上記透明基板と該基板上の電極との間にカラーフィルター層が配設されていることを特徴とする請求項1、2、3、4、5または6に記載の液晶表示装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、反射型の液晶表示装置に係わり、特に、反射電極の反射率が高く、かつ、光源の位置によらず視野角を拡大すると共に、電極の低抵抗化および、透明電極の高透過率化かつ低反射率化によって表示品位を向上させた液晶表示装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】液晶表示装置は、一般に、透明電極を備える二枚の電極板の間に液晶を挟持させて構成されるもので、この透明電極間に電圧を印加して液晶を駆動させてこの液晶を透過する光の偏光面を制御し、偏光膜によってその透過、不透過を制御して画面表示するものである。

【0003】そして、このような液晶表示装置の表示に充分な明るさを得るため、液晶表示装置の面ないし側面に光源（ランプ）を配置したバックライト型やサイドライト型のランプ内蔵式の透過型液晶表示装置が広く利用されている。

【0004】この透過型液晶表示装置は、ランプによる電力の消費が大きく、液晶表示装置以外の他の表示装置（CRT、PDP等）と大差ない消費電力となってお

り、低消費電力でしかも携帯可能であるという液晶表示装置本来の特徴を損なっている。

【0005】一方、反射型液晶表示装置は、液晶表示装置の透過光として室内光や外光を使用するもので、ランプを内蔵しておらず、低消費電力の理想的な表示装置となっており、軽量で携帯用としても便利なものである。

【0006】このような反射型液晶表示装置においては、この表示装置を観察する観察者の位置とは反対側の電極板（走査側電極板）の基板上の全面に一樣に上記室内光や外光の反射する金属薄膜を備えるか、あるいは、反射膜を別の基板の全面に一樣に設けて上記基板裏面に配置することが普通である。例えば、カラー表示液晶ディスプレイにおいては、上記走査側電極板の基材上に金属反射膜を設け、この金属反射膜上に、透過光を着色するカラーフィルター層を介して透明電極を設けて上記走査側電極板としていた。

【0007】また、金属反射膜を、液晶駆動のための上記電極と同一パターンに構成し、この液晶駆動用電極として利用する方法も提案されている。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】液晶表示装置用透明電極として用いられる最も一般的なものは、ITOと呼ばれる酸化インジウムと酸化スズの混合酸化物による透明電極である。しかし、ITOは抵抗値の低いものでも5～10Ω/□のレベルである。

【0009】画面サイズが10インチあるいは12インチ以上と大型化、およびSVGA、XGAと高精細化するに伴い、ITOの抵抗値では、特に単純マトリクス型のLCDにおいて、シャドーイングやクロストークが目立ち、表示品位の低下を伴うものであった。STNやBTNといった液晶による高画質対応では、ITOの抵抗値による電圧降下が、その表示品位向上を妨げる主因であった。

【0010】反射型の液晶表示装置では、アルミニウムのような金属薄膜による反射性電極（反射電極）を、背面基板の内面（液晶と接する側）に設け表示電極に用いることで、電極抵抗の低抵抗化をはかることができる。しかし、アルミニウムの薄膜は0.1～0.5Ω/□付近のITOの1/10以下の低抵抗であるものの、耐薬品性、耐湿性等の信頼性に欠けるため、単純マトリクスタイプの液晶表示装置には事実上使えないものであった。

【0011】また、金属薄膜による反射電極では、室内光や外光が反射電極上で正反射するため、こうした入射光の角度によっては反射光が観察できず、表示画面が暗くなる問題があった。

【0012】また、アルミニウム箔の表面を粗化させてアルミニウム反射板としたものを、背面基板の外側（裏面）に配設した、外付方式の反射型の液晶表示装置もある。しかし、この構成では、ガラス等の基板の厚みのため、液晶にて文字を出している部分がアルミニウム反射

板に映り込み、像が2つとなるため2重に見えるという欠点がある。

【0013】銀はアルミニウムより10%程度反射率が高く、光の反射鏡として用いることができる。しかし、銀は、ガラスやプラスチック基板との密着性に欠け、容易に傷つきやすく、さらに、表面に硫化物を形成し易く黒化し易い欠点がある。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、鋭意研究の結果、酸化セリウムと酸化インジウムの混合酸化物が高屈折率であり、この混合酸化物で銀系薄膜を扶持することにより、高透過率の透明電極、あるいは高反射率の反射電極の形成が可能であることを見いだした。

【0015】すなわち、請求項1に係わる発明は、2枚の対向する基板の少なくとも向かい合う面側に、銀系薄膜を透明酸化物薄膜で扶持する3層構成の電極を有する液晶表示装置において、透明基板側の電極の銀系薄膜の膜厚が7nm～20nmの範囲にあり、かつ、背面基板側の電極の銀系薄膜の膜厚が50nmより厚く形成されていることを特徴とする液晶表示装置である。

【0016】銀系薄膜を透明酸化物で扶持する3層構成の電極は、銀系薄膜の膜厚が20nm以下では光透過主体の透過膜となり、銀系薄膜の膜厚を増加させるに伴い光反射が増えてくる。図2および図3に、銀系薄膜の膜厚の変動による様子を明確にさせるため、ガラス基板（屈折率  $n = 1.5$ ）上に、屈折率  $n = 2.3$ 、膜厚10nmの2層の透明酸化物で銀薄膜を扶持する3層構成の導電膜を配設し、その導電膜上に液晶（屈折率  $n = 1.5$ ）を想定した媒質が接する簡単な構成での、導電膜の透過率および反射率の例を示した。

【0017】なお、図2、図3および図5のグラフ（4）中、横軸は分光波長（nm）を、縦軸は各々導電膜の反射率Rおよび導電膜の透過率Tを示している。また、図4に示す数字は、透明酸化物で扶持された銀薄膜の膜厚（nm）を表し、また、矢線に示すRは反射率を、Tは透過率を各々表している。

【0018】図2に示すように、銀薄膜の膜厚が20nmまでは、80%前後の透過主体の分光特性となるが、膜厚が50nmとなると逆に80%前後の反射主体の分光特性となる。なお、例えば膜厚15nmの銀系薄膜を扶持する3層構成の導電膜（透明電極）の面積抵抗値は約3Ω/□である。

【0019】なお、3層構成の電極の透過率（分光特性）をシミュレーションなしに測定する場合に、液晶（屈折率  $n = 1.5$ ）を考慮したモデルが必要である。図5を用い、その理由を記す。図5中のAおよびBに示すように、屈折率（ $n$ ）が1.5のガラス等の透明基板6上に、膜厚37nm、屈折率  $n = 2.2$ の透明酸化物薄膜1、膜厚14nmの銀薄膜、および膜厚39nm、屈折率  $n = 2.2$ の透明酸化物薄膜11'を順次積層して3層構成とし

た電極（導電膜）を配設している。ここで、Aは、電極（導電膜）と接する媒質の屈折率を、液晶を想定して1.5としており、また、Bは、電極（導電膜）と接する媒質の屈折率を1.0（空気）としている。次いで、図5中のグラフ（4）は、AおよびBの場合の、電極の透過率Tおよび反射率Rの測定結果を示している。このように、電極（導電膜）と接する媒質の屈折率が異なると、電極の透過率Tや反射率Rの値に差が出てしまうものである。

【0020】本発明者らは、液晶を前提とした場合には、透明酸化物薄膜の屈折率の高い方が、透過率向上により効果のあることを見いだした。本発明者らが提案する、酸化セリウムと酸化インジウムの混合酸化物は、この点できわめてすぐれている。

【0021】本発明の液晶表示装置において、図2に示すように、電極の低抵抗を優先する場合は、銀系薄膜の膜厚を、例えば15nmと厚くすれば良いし、電極の透過率（もしくは低反射率）を優先する場合は、例えば10nmと薄くすれば良いといえる。

【0022】次いで、図3に、銀薄膜の膜厚を50nm、75nm、100nm、200nmとした場合での3層構成の導電膜の分光特性を示した。銀薄膜の膜厚が75nmとなると反射率が90%を超える。また、銀薄膜の膜厚が100nm、200nmとなると、導電膜の反射率が飽和し、同時に透過率がほぼ0%となってくる。こうした、反射電極前提の導電膜は、銀薄膜ないし銀系薄膜上に10nm～150nmの透明酸化物を積層する構成が好ましい。なお、銀薄膜ないし銀系薄膜と基板との間の酸化物は、場合によっては省略しても構わない。しかし、これら銀系薄膜と透明酸化物薄膜の合計膜厚が300nmより厚くなると、電極バターンエッチングに起因する液晶の配向不良を生じることがあり、また、不経済である。以上より銀系薄膜の膜厚は、75nm～200nmとすることが実用上より好ましい。

【0023】すなわち、請求項2に係わる発明は、背面側の基板に相当する背面基板側の銀系薄膜の膜厚が75nm～200nmの範囲にあることを特徴とする。本発明で用いる、例えば膜厚120nmの銀系薄膜を扶持する反射電極の反射率は、アルミニウム膜やアルミニウム反射板より8～20%程度反射率が高い。

【0024】反射型の液晶表示装置では、室内光や外光を利用して表示するものであるが、室内光や外光が導光光源や点光源の場合、光源が反射電極に映り込み表示品位を大きく低下させてしまう。反射型表示の場合、紙に似た光の散乱機能を、その部材の中に盛り込む必要があり、液晶表示装置では、液晶にできるだけ近い位置に光の散乱膜があることが必要である。また、光の散乱膜は、液晶の屈折率に近い樹脂（例えば、屈折率  $n = 1.3 \sim 1.7$ の範囲内）に、これと屈折率の異なる透明顔料を分散させて形成することが簡便な方法である。

【0025】すなわち、請求項3に係わる発明は、観察

者側の基板に相当する透明基板と該基板上の電極との間に、樹脂および、樹脂と屈折率の異なる透明顔料によりなる光の散乱膜が挿入された構成であることを特徴とする。

【0026】透明顔料として、顆粒状の有機樹脂、ハイクロクセル、透明無機物の粒子など種々のものが利用できる。透明無機物として、酸化物、弗化物、硫化物、窒化物なども利用できるが、粒子として入手しやすい酸化チタン、酸化ジルコニウム、酸化鉛、酸化アルミニウム、酸化珪素、酸化マグネシウム、酸化亜鉛、硫酸トリウム、酸化セリウムなどが利用できる。また、低屈折率で、等軸晶の弗化カルシウムや、これに結晶構造の近い弗化マグネシウムの粒子も散乱材として向いている。これらの透明顔料は、可視光の波長付近の平均粒径が良い。

【0027】反射型の液晶において、偏光フィルムを用いるタイプでは、これらの透明顔料が非晶質や等軸晶など光学的に等方性であることが望まれる。高屈折率で、かつ、等軸晶の材料としてセリアと呼ばれる酸化セリウムの粉末が散乱材として好ましい。

【0028】すなわち、請求項4に係わる発明は、透明顔料が、酸化セリウムであることを特徴とする。酸化セリウムの粒子の平均粒径は、前記したように可視光の波長レベルが良い。これより大きくても良いが、液晶のセル内に散乱膜として形成するためには、例えば、 $2\mu\text{m}$ 以上の大きな粒子があることは望ましくない。酸化セリウムには、屈折率の透明顔料をさらに加えて散乱膜として形成しても良い。

【0029】銀は、蒸着やスパッタリング等の真空成膜時にかかる熱やプラズマの影響で凝集しやすい。また、銀はハイクレーションしやすい、電子デバイスに銀を用いた場合、その信頼性を損なうことがある。これらの問題を解消するため、少量の元素を銀に添加することが有効である。しかし、銀への元素の添加量が多くなると、電極としての抵抗値を上昇させ透過率を低下させる傾向にあるため、最小限に抑える必要がある。

【0030】すなわち、請求項5に係わる発明は、銀系薄膜が、3at%（原子パーセント）以上の異種元素を含む合金であることを特徴とする。銀への添加元素は、移動しやすい銀の動きを抑制する観点からは、鉛や金など重い元素が好ましい。電極としての抵抗値の観点からは、銀合金として導電性を低下させにくい銅、金、パラゲル、亜鉛、カドミウム、マグネシウム、アルミニウム、インジウムなど少量添加することが良い。透過率の観点からは、金、銅が好ましい。他、基板や酸化物への密着性を向上させるため、遷移金属や半金属を少量添加しても良い。また、これらの元素を複数銀へ添加しても良い。

【0031】本発明者らは、鋭意検討を重ねたところ、酸化セリウムと酸化インジウムの混合酸化物が高屈折率

であり、この混合酸化物で銀系薄膜を挟持することにより、高透過率かつ面湿性など信頼性の高い透明電極となることを見出した。この混合酸化物による銀系薄膜の挟持構成は、反射電極においても有効である。

【0032】すなわち、請求項6に係わる発明は、透明酸化物薄膜が、酸化セリウムと酸化インジウムの混合酸化物であることを特徴とする。酸化インジウムに対する酸化セリウムの添加量は、インジウムとセリウムの金属元素換算（酸素元素をカウントしない）で、セリウム元素が5~80at%（原子パーセント）の広い範囲から選択できる。セリウムが80at%（原子パーセント）を超えた、セリウムが多く含まれる混合酸化物の場合、その真空成膜に用いるスパッタリングターゲットが割れやすくなり、また、ターゲットの導電性が低くなるため、DCやRF+DCスパッタなどの直流スパッタリングによる成膜がむづかしくなる。成膜された3層構成の導電膜のウェットエッチングによる加工性や、スパッタリングターゲットの導電性（直流スパッタリング対応）を考えると、およそ10~40at%（原子パーセント）のセリウム元素添加量が良い。ただし、混合酸化物としての透明酸化物薄膜に、強い耐酸性が必要な場合、40at%（原子パーセント）を超えるセリウム元素添加量の混合酸化物を用いても良い。

【0033】本発明の液晶表示装置は、2枚の対向する基板の少なくとも向かい合う一方の基板にカラーフィルターを形成することでカラー表示を行うことができる。しかし、反射電極が形成される背面側の基板上にカラーフィルターを形成する場合、反射電極と背面側の基板との間にカラーフィルターを形成すると、カラーフィルターが観察面から見えなくなるため、反射電極上にカラーフィルターを形成することになる。ここで、反射電極上にカラーフィルターを形成した場合、反射電極の低抵抗（ $0.1 \sim 0.5\Omega/\square$ ）をいかにすることができなくなる。ゆえに、カラーフィルターは、観察者側の基板に相当する透明基板側に配設した方が有利である。

【0034】すなわち、請求項7に係わる発明は、透明基板と該基板上の3層構成の電極（銀系薄膜が、7~20nmである透明電極）との間にカラーフィルター層が配設されていることを特徴とする。本発明に用いることの可能な基板は、その材料を規定する必要がなく、ガラス、プラスチック、フィルム等使用できる。フィルムは偏光フィルムや位相遅延フィルム、インジウムなどであっても基板として使用できる。なお、背面基板には、白、黒、他の色に着色したものなど色調や材質を制限する必要はない。本発明の表示装置の最外層として、反射防止膜やAG膜、EMI膜などを形成することは实际的に望ましい。

【0035】本発明に係わる3層電極は、きわめて低抵抗であるため、例えば、小型FETのトランジスタ駆動のため、および、MIMなどの信号線と表示電極を兼用

する形で用いて液晶表示装置としてもよい。

【0036】また、上記銀系薄膜と透明酸化物薄膜とは、いずれもスパッタリング法によって形成できる他、真空蒸着法やイオンビームエッチング法等の真空成膜法によって成膜することが可能である。そして、成膜の際、成膜装置内部の酸素量などの成膜条件を制御することにより、透明酸化物薄膜の屈折率をある程度コントロールすることができる。成膜時の基板温度は、 $-180^{\circ}\text{C}$ 以下、ないし室温が望ましい。また、 $150^{\circ}\text{C}$ 以上の温度でアニーリング処理を施すことにより、3層構成の導電性を向上させることができる。

【0037】本発明の液晶表示装置に用いる3層構成の銀系薄膜の膜厚は、抵抗値をあまり問題とせず、透過率を優先するTFTの場合、例えば、 $6\sim 12\text{nm}$ の薄めの膜厚にて、また、液晶駆動上抵抗値を優先する場合は、例えば、 $12\sim 16\text{nm}$ の厚めの膜厚にて設定することが良い。

【0038】本発明の液晶表示装置に用いる液晶は、TN、STN、BTN、OCB、ホメオトロピック、ゲストホスト、強誘電性、反強誘電性、高分子分散など規定する必要はない。ただし、光透過時（ノーマリホワイトのTN、STNでは電圧オフ時）のときの液晶の屈折率は、基板の屈折率に近い方、もしくは、低屈折率である方が好ましい。カラーフィルター、配向膜、偏光フィルム他の部材の屈折率も基板の屈折率に近い方、あるいは、低屈折率である方が好ましい。

【0039】請求項1～7に記載の発明に係わる液晶表示装置によれば、銀系薄膜を扶持する構成の低抵抗の電極を、また、反射電極においては高反射率の電極を用いるため、クロストークやシャドーイングなどによる表示品位低下なしに、明るい反射型の表示を得ることができ、

【0040】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態を、以下の実施例に記す。

【0041】

【実施例】以下、図面を参照して、本発明の実施例について詳細に説明する。

＜実施例＞実施例に係わる液晶表示装置は、図1に示すように、光の散乱膜5と透明電極4とが積層された透明基板6と、光の反射電極2が配設された背面基板1とによって液晶3が扶持された構成である。配向膜は、図示を省略した。透明基板6の外側、すなわち観察者側には、偏光フィルム7とAR兼用AG膜8とを配設している。

【0042】そして、透明電極4は、幅 $100\mu\text{m}$ 、ピッチ $110\mu\text{m}$ のストライプパターン状に、また、反射電極2は、幅 $320\mu\text{m}$ 、ピッチ $330\mu\text{m}$ にて透明電極4と直交する方向にパターン形成されている。透明電極4は、各々膜厚 $40\text{nm}$ の透明酸化物薄膜11にて膜厚 $15\text{nm}$ の銀系薄

膜10を扶持する3層構成である。次いで、反射電極2は、ガラス基板である背面基板1に接する側を膜厚 $10\text{nm}$ の透明酸化物薄膜11とし、また、液晶3の側を膜厚 $40\text{nm}$ の透明酸化物薄膜11としており、各透明酸化物薄膜11にて膜厚 $150\text{nm}$ の銀系薄膜10を扶持する3層構成とした。透明酸化物薄膜11は、酸化セリウムを全金属量換算で $30\text{at}\%$ （原子パーセント）含む酸化インジウムとの混合酸化物であり、屈折率は $2.21$ であった。銀系薄膜10の組成は、銅を $0.8\text{at}\%$ （原子パーセント）含む銀合金である。

【0043】＜比較例＞比較例として、図4に示すように、 $8\Omega/\square$ 、膜厚 $240\text{nm}$ のITOにより透明電極52および透明電極54を形成し、かつ、背面基板51側裏面（外側）にアルミニウムの反射板59を用いた液晶表示装置とした。上記実施例および比較例の液晶表示装置の明るさを比較したところ、上記実施例の方がおよそ $10\%$ 明るく、表示品位の高いものであった。

【0044】比較例では、シャドーイングという表示文字に影がひいたような品位の劣る表示であったが、実施例ではシャドーイングは全く観察されなかった。また、比較例では、液晶表示文字が裏側のアルミニウムの反射板59に映り込み、文字が2重に見える等、視認性の悪いものであった。

【0045】

【発明の効果】本発明によれば、高屈折率の透明酸化物薄膜で銀系薄膜を扶持する3層構成の透明電極および反射電極を用いるため、これらの電極の低抵抗を生かしながら高反射率の反射型の液晶表示装置が提供できることとなる。

【0046】また、反射電極が液晶セルの内側にあるため、表示文字の反射板への映り込みがなくなり、視認性が高くなる。

【0047】請求項3、4に係わる発明によれば、光の散乱層を液晶セルの内側に配設するため、液晶による表示文字との距離がほとんどなくなり、表示文字のぼけがなくなり、きわめて鮮明な表示効果を得ることができ、

【0048】請求項5に係わる発明によれば、 $3\text{at}\%$

（原子パーセント）以下の異種元素の添加により、低抵抗でありながら諸面性に優れた電極をもち液晶表示装置が提供できる。

【0049】請求項7に係わる発明によれば、観察者側の透明基板側にカラーフィルターを配設することにより、低抵抗の電極を生かしたまま、簡単にカラー表示が可能となった。

【0050】

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の液晶表示装置の一実施例の要部を示す説明図。

【図2】本発明の液晶表示装置に用いる電極の分光特性

の一例を示すグラフ図。

【図3】本発明の液晶表示装置に用いる電極の分光特性の他の例を示すグラフ図。

【図4】従来の反射型の液晶表示装置の一例の要部を示す説明図。

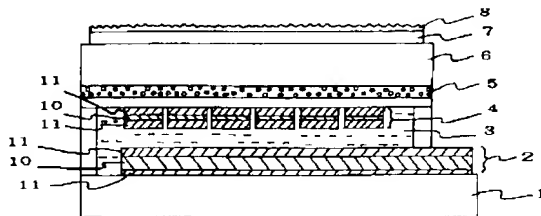
【図5】本発明の液晶表示装置に用いる電極の分光特性を計算するうえで、媒質による屈折率の影響の一例を示す説明図。

【符号の説明】

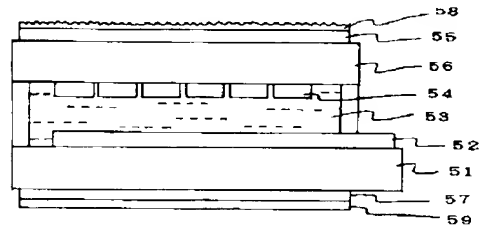
1、51 背面基板  
2 反射電極

3、53 液晶  
4 透明電極  
5 散乱膜  
6、56 透明基板  
7、55、57 偏光フィルム  
8、58 AR兼用AG膜  
10 銀系薄膜  
11 透明酸化物質薄膜  
52、54 透明電極  
59 反射板

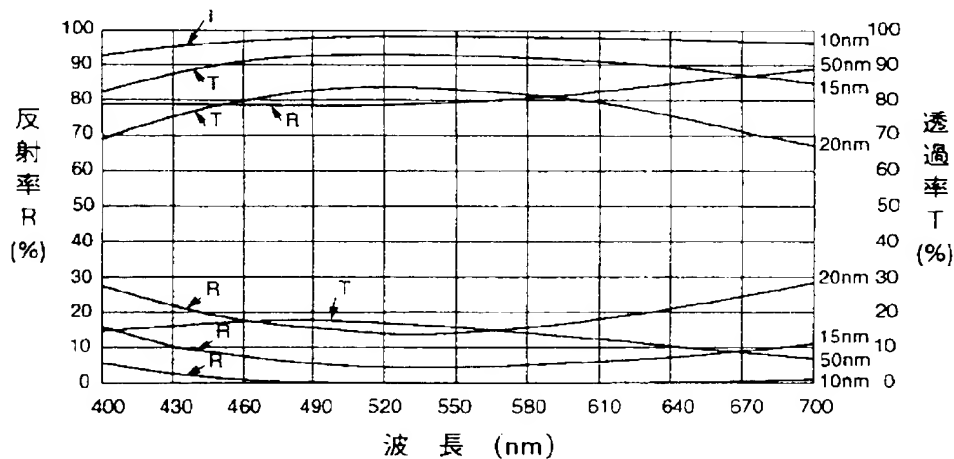
【図1】



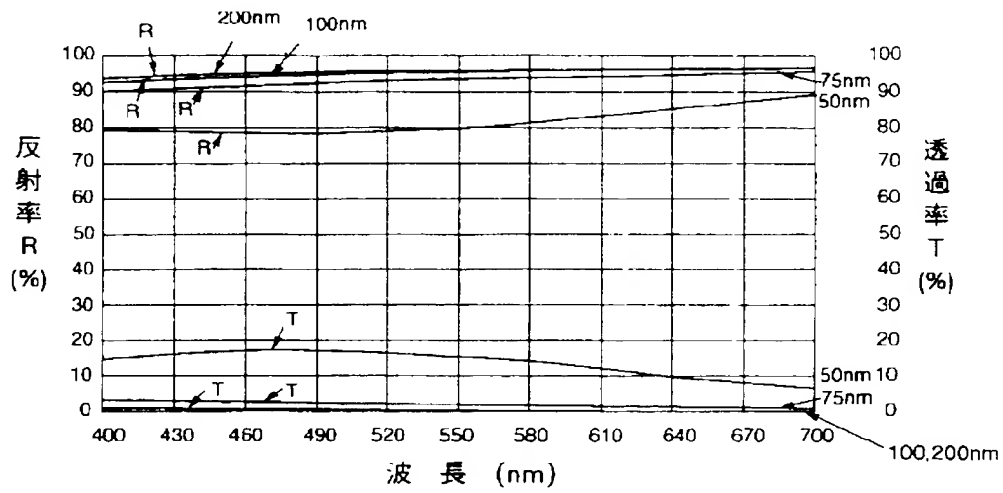
【図4】



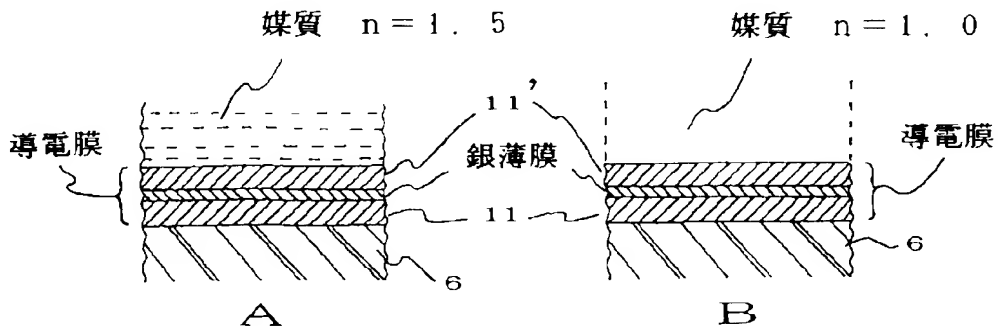
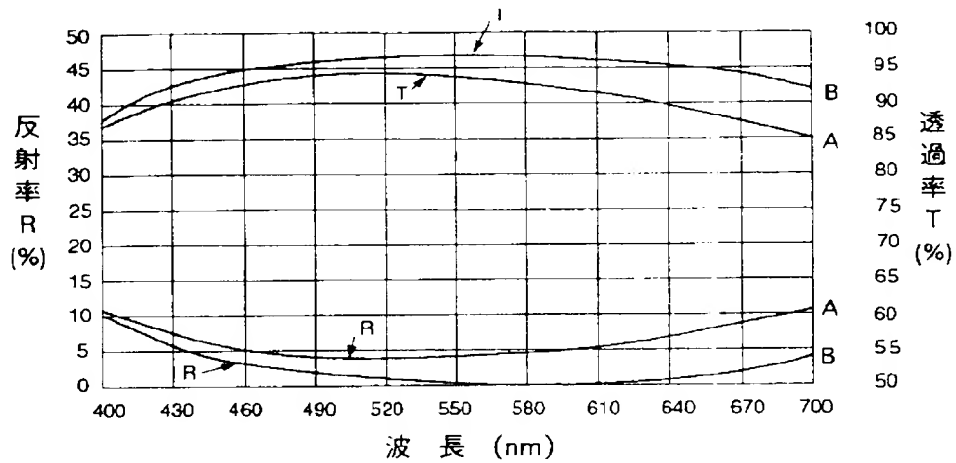
【図2】



【図3】



【図5】



フロントページの続き

(72) 発明者 今古 孝二  
東京都台東区台東1丁目5番1号 凸版印  
刷株式会社内



(19) Japan Patent Office (JP)

(12) Publication of Patent Application (A)

(11) Publication Number of Patent Application: 179116/1997

(43) Date of Publication of Application: July 11, 1997

(51) Int. Cl.<sup>6</sup> :

G 02 F 1/1335

1/1343

Identification Number: 520

Intraoffice Reference Number:

FI

G 02 F 1/1335 520

1/1343

Request for Examination: made

Number of Claims: 7 OL (8 pages in total)

(21) Application Number Hei-7-333226

(22) Application Date: December 21, 1995

(71) Applicant: 000003193

Toppan Printing Co., Ltd.

1-5-1, Taito, Taito-ku,

Tokyo

(72) Inventors: FUKUYOSHI Kenzo, KIMURA Yukihiro,

KOGA Osamu, IMAYOSHI Koji

c/o Toppan Printing Co., Ltd.

1-5-1, Taito, Taito-ku,

Tokyo

(54) Title:

LIQUID CRYSTAL DISPLAY DEVICE

(57) Abstract

[Problem] To provide a liquid crystal display device of a reflection type, which has a reflector with a high reflectance and may enlarge the visual angle regardless of the position of a light source, lower the resistance of an electrode, heighten the transmittance of a transparent electrode, and lower the reflectance to improve the display grade.

[Means for Resolution] In this liquid crystal display device, an electrode of a three-layer structure having a silver-base thin film held by transparent oxide thin films is provided at least on the opposite sides of a transparent substrate and a back substrate. The device is characterized in that the film thickness of the silver-base thin film of an electrode on the transparent substrate ranges from 7 nm to 20 nm, and the film thickness of the silver-base thin film of an electrode on the back substrate is 50 nm or more.

Claims:

1. A liquid crystal display device, in which an electrode of a three-layer structure having a silver-base thin film held by transparent oxide thin films is provided at least on the opposite sides of a transparent substrate and a back

substrate, characterized in that the film thickness of the silver-base thin film of an electrode on the transparent substrate ranges from 7 nm to 20 nm, and the film thickness of the silver-base thin film of an electrode on the back substrate is 50 nm or more.

2. The liquid crystal display device according to claim 1, wherein the film thickness of the silver-base thin film on the back substrate ranges from 75 nm to 200 nm.

3. The liquid crystal display device according to claim 1 or 2, wherein a light scattering film formed of resin and a transparent pigment different in refractive index from the resin is inserted between the transparent substrate and the electrode on the substrate.

4. The liquid crystal display device according to claim 3, wherein the transparent pigment is cerium oxide.

5. The liquid crystal display device according to claim 1, 2, 3 or 4, wherein the silver-base thin film is a silver alloy containing 3 at% (atom percentage) or less a heterogeneous element.

6. The liquid crystal display device according to claim 1, 2, 3, 4 or 5, wherein the base material of the transparent oxide thin film is a mixed oxide of a cerium oxide and an indium oxide.

7. The liquid crystal display device according to claim 1, 2, 3, 4, 5 or 6, wherein a color filter layer is disposed

between the transparent substrate and the electrode on the substrate.

Detailed Description of the Invention:

[0001]

[Technical Field to which the Invention Belongs]

This invention relates to a liquid crystal display device of a reflection type and particularly to the liquid crystal display device, which has a reflector with a high reflectance and may enlarge the visual angle regardless of the position of a light source, lower the resistance of an electrode, heighten the transmittance of a transparent electrode, and lower the reflectance to improve the display grade.

[0002]

[Prior Art]

Generally the liquid crystal display device has been so constructed that liquid crystal is held between two electrode plates having a transparent electrode, voltage is applied between the transparent electrodes to drive the liquid crystal, thereby controlling the plane of polarization of light transmitted through the liquid crystal, and the transmission/non-transmission is controlled by a polarization film to make a screen display.

[0003]

A back light type or light guide type transmission liquid

crystal display device having a built-in lamp has been widely used, in which a light source (a lamp) is disposed on the surface or the side of the liquid crystal display device in order to obtain enough brightness in the display of this type of liquid crystal display device.

[0004]

In the transmission liquid crystal display device, the power consumption of the lamp is large, and there is not much difference between this power consumption and the power consumption of the display devices (CRT, PDP and the like) other than the liquid crystal display device, which will impair the characteristics of the liquid crystal display device in itself that it is low power consumption and portable.

[0005]

On the other hand, the reflection liquid crystal display device uses room light and external light as transmitted light of the liquid crystal display device, so a lamp is not incorporated so that the display device is the ideal low-power consumption type which is light-weighted and convenient for carrying.

[0006]

In this type of reflection liquid crystal display device, generally a metal thin film for reflecting the room light or external light is uniformly provided on the whole surface of the substrate of the electrode plate (scan side electrode

plate) on the opposite side to the position of an observer observing the display device, or a reflection film is uniformly provided on the whole surface of a separate substrate and disposed on the back of the substrate. In a color display liquid crystal display, for example, a metallic reflective film is provided on the base material of the scan side electrode plate, and a transparent electrode is provided on the metallic reflective film through a color filter layer for coloring transmitted light to be taken as the above scan side electrode plate.

[0007]

Further, it is proposed that the metallic reflective film is constituted to have the same pattern as the above electrode for the liquid crystal drive, and used as the liquid crystal driving electrode.

[0008]

[Problems that the Invention is to Solve]

It is the transparent electrode formed of mixed oxide of indium oxide and tin oxide called ITO that is most generally used as the transparent electrode for the liquid crystal display device. The resistance value of the ITO is at the level of 5 to 10  $\Omega/\square$  at the lowest.

[0009]

As the screen size is increased to 10 inch or 12 inch or more and the precision is heightened to SVGA and XGA, as

for the resistance value of ITO, especially in the simple matrix LCD, shadow ink and crosstalk are remarkable, resulting in lowering the display grade. In high-speed coping measure using liquid crystal such as STN and BTN, the voltage drop due to the resistance value of ITO was the primary cause for obstructing the improvement in display grade.

[0010]

In the reflection liquid crystal display device, the resistance of the electrode resistance can be lowered by providing a reflective electrode (a reflector) formed by a metal thin film such as aluminum on the inner surface of the back side substrate to be used for a display electrode. Although the aluminum thin film has low resistance in the vicinity of 0.1 to 0.5  $\Omega/\square$  which is 1/10 or less of ITO, the reliability such as chemical resistance or moisture resistance is insufficient, so practically it is not used in the liquid crystal display device of simple matrix type.

[0011]

In the reflector formed by the metal thin film, room light and external light regularly reflect on the reflector, so the reflected light can't be observed at some angle of incident light, resulting in the problem that the display screen becomes dark.

[0012]

Further, cited is an external fitting type reflection

liquid crystal display device, in which the surface of aluminum foil is roughened to form an aluminum reflector, and the reflector is disposed on the outside (back) of the back substrate. This configuration, however, has the disadvantage that owing to the thickness of the substrate made of glass or the like, a part where a character is output by liquid crystal is reflected in the aluminum reflector so that two images are shown, so the character has double vision.

[0013]

The silver has a higher reflectance than aluminum by about 10%, so it can be used as a light reflector. The silver, however, has disadvantages that it is lacking in adhesion to a glass and plastic board, it is soft and easily damaged, further sulfide is easily formed on the surface and it is easily blackened.

[0014]

[Means for Solving the Problems]

The inventors of the invention has earnestly studied to find that mixed oxide of cerium oxide and indium oxide has high refractive index, a silver-base thin film is held by the mixed oxide to form a high-transmittance transparent electrode or high-reflectance reflector.

[0015]

That is, according to the invention related to claim 1, a liquid crystal display device, in which an electrode of a



three-layer structure having a silver-base thin film held by transparent oxide thin films is provided at least on the opposite sides of a transparent substrate and a back substrate, is characterized in that the film thickness of the silver-base thin film of an electrode on the transparent substrate ranges from 7 nm to 20 nm, and the film thickness of the silver-base thin film of an electrode on the back substrate is 50 nm or more.

[0016]

The electrode of the three-layer structure having the silver-base thin film held by transparent oxide becomes a transmission film primarily transmitting light when the film thickness of the silver thin film is 20nm or less, and as the film thickness of the silver-base thin film is increased, light reflection is increased. In order to make clear the condition depending on the variation of film thickness of the silver-base thin film, Figs. 2 and 3 show examples of transmittance and reflectance of a conductive film in simple constitution where the conductive film with a refractive index  $n = 2.3$  and thickness of 40 nm of a three-layer structure composed of the silver thin film held by two layers of transparent oxide is disposed on a glass substrate (refractive index  $n = 1.5$ ), and medium assumed to be liquid crystal (refractive index  $n = 1.5$ ) is in contact with the upper side of the conductive film.

[0017]

In the graphs of Fig. 2, Fig. 3 and Fig. 5, the axis of abscissas indicates spectral wavelength (nm), and the respective axes of ordinates indicate the reflectance R of the conductive film and the transmittance T of the conductive film. In the drawings, the numerals indicate the film thickness (nm) of the silver thin film held by transparent oxide, R indicated by an arrow shows the reflectance, and T shows the transmittance.

[0018]

As shown in Fig. 2, the silver thin film shows spectral characteristics mainly given by transmittance about 80% when the film thickness is within the range of 20nm, and when the film thickness is 50nm, on the contrary, it shows the spectral characteristics mainly given by reflectance about 80%. The sheet resistivity of the conductive film (transparent electrode) of a three-layer structure holding a silver-base thin film 15 nm thick is, for example, about  $3 \Omega/\square$ .

[0019]

In the case of simulating or measuring the transmittance (spectral characteristics) of a three-layer electrode, a model taking the liquid crystal (refractive index  $n = 1.5$ ) into consideration is needed. The reason will be described with Fig. 5. As shown in Fig. 5A and 5B, a transparent oxide thin film 11 with a film thickness of 37 nm and a refractive index of  $n = 2.2$ , a silver thin film 14 nm thick, and a transparent

oxide thin film 11' with a film thickness of 39 nm and a refractive index of  $n = 2.2$  are sequentially stacked to form a three-layer structure electrode (conductive film) and disposed on a transparent substrate 6 made of glass or like with a refractive index ( $n$ ) of 1.5. In Fig. 5A, the refractive index of medium touching the electrode (conductive film) is 1.5 on assumption that it is liquid crystal, and in Fig. 5B, the refractive index of medium touching the electrode (conductive film) is 1.0 (air). The graph in Fig. 5 shows the measurement results of the transmittance  $T$  and the reflectance  $R$  on the electrode in the cases of Figs. 5A and 5B. When the refractive index of medium touching the electrode (conductive film) is varied as described above, a difference is produced in the values of transmittance  $T$  and reflectance  $R$  of the electrode.

[0020]

The inventors of the invention has found that with the higher refractive index of the transparent oxide thin film, it is more effective for the improvement of transmittance on the assumption that it is liquid crystal. The mixed oxide of cerium oxide and indium oxide proposed by the inventors is very excellent in this respect.

[0021]

In the liquid crystal display device of the invention, as shown in Fig. 2, in the case of giving priority to low

resistance of the electrode, it will be sufficient that the film thickness of the silver-base thin film is large as much as 15 nm, and in the case of giving priority to transmittance (or low reflectance) of the electrode, it will be sufficient that it is thin as much as 10 nm, for example.

[0022]

Fig. 3 shows the spectral characteristics of the conductive film of a three-layer structure in the case of setting the film thickness of the silver thin film to 50 nm, 75 nm, 100 nm and 200 nm. When the film thickness of the silver thin film is 75 nm, the reflectance exceeds 90%. When the film thickness of the silver thin film is 100 nm and 200 nm, the reflectance of the conductive film is saturated and simultaneously the transmittance becomes substantially 0%. In the conductive film on the assumption of the reflector, it is preferable to stack a transparent oxide 10 nm to 150 nm thick on the silver thin film or the silver-base thin film. The oxide between the silver thin film or the silver-base thin film and the substrate may be omitted in some case. When the total film thickness of the silver-base thin film and the transparent oxide thin film reaches 300 nm or larger, sometimes orientation failure of liquid crystal due to electrode pattern etching is caused, and also it is uneconomical. According to the above description, practically it is preferable that the film thickness of the silver-base thin film ranges from 75 nm to

200 nm.

[0023]

That is, the invention related to claim 2 is characterized in that the film thickness of the silver-base thin film on the back substrate corresponding to the back side substrate ranges from 75 nm to 200 nm. The reflectance of a reflector holding a silver-base thin film with a film thickness of 120 nm used in the invention has a higher reflectance than an aluminum film or an aluminum reflector by about 8 to 20%.

[0024]

Although the reflection liquid crystal display device is adapted to display using room light or external light, in the case where the room light or external light is emitted from a linear light source or point light source, the light source is reflected in the reflector to remarkably lower the display grade. In the case of reflection display, light scattering function similar to that of paper should be incorporated in the member, and in the liquid crystal display device, it is necessary that a light scattering film is placed in a position close to the liquid crystal as much as possible. As for formation of the light scattering film, it is a simple method to disperse a transparent pigment different in refractive index from the resin (e.g. the refractive index  $n$  ranging from 1.3 to 1.7) with a refractive index close to that of liquid crystal in the resin.

[0025]

That is, the invention related to claim 3 is characterized in that a light scattering film formed by resin and a transparent pigment different in refractive index from the resin is inserted between a transparent substrate corresponding to a substrate on the observer's side and an electrode on the substrate.

[0026]

As the transparent pigment, various materials such as granulated organic resin, microcapsule and particles of transparent organics can be used. As the transparent organics, an oxide, a fluoride, a sulfide and a nitride can be used, but it is possible to use a titanium oxide, a zirconium oxide, a lead oxide, an aluminum oxide, a silicon oxide, a magnesium oxide, a zinc oxide, a thorium sulfate and a cerium oxide, which are easily available as particles. Further, the particles of an isometric calcium fluoride with a low refractive index and a magnesium fluoride having a crystal structure close to the above are also suitable as scattering material. These transparent pigments preferably have the mean particle diameter in the vicinity of wavelength of visible light.

[0027]

In the reflection liquid crystal, in the type using a polarizing film, it is desirable that these transparent pigments are optically isotropic, for example, amorphous or

isometric. Powder of cerium oxide called ceria as isometric material, which has a high refractive index, is preferable as scattering material.

[0028]

That is, the invention related to claim 4 is characterized in that the transparent pigment is a cerium oxide. Preferably the mean particle diameter of the particles of the cerium oxide is, as described above, at a level of wavelength of visible light. Although it may be larger, for the purpose of forming a scattering film in the cell of liquid crystal, it is not desirable that there are particles with a diameter of 2  $\mu\text{m}$  or more. A transparent pigment different in the refractive index may be further added to the cerium oxide to form a scattering film.

[0029]

The silver is liable to flocculate due to the influence of heat and plasma applied in vacuum deposition by evaporation or sputtering. The silver is liable to migrate, so in the case of using the silver in an electronic device, its reliability is sometimes impaired. In order to solve these problems, it is effective to add a small quantity of element to the silver. When the quantity of the element added to the silver becomes larger, however, there is a tendency of raising the resistance value as an electrode and lowering the transmittance. Accordingly, the quantity of addition should be held down.

[0030]

That is, the invention related to claim 5 is characterized in that the silver-base film is a silver alloy containing 3 at% (atom percentage) or less a heterogeneous element. The element added to the silver is preferably a heavy element such as lead or gold from a viewpoint of restraining the motion of silver liable to migrate. From a viewpoint of a resistance value as an electrode, it is better to add a small quantity of copper, gold, nickel, zinc, cadmium, magnesium, aluminum or indium which is hard to lower the conductivity as a silver alloy. From a viewpoint of transmittance, gold and copper are preferable. In addition to the above, in order to improve adhesion to the substrate or the oxide, a small quantity of transition metals or semimetal may be added. Two or more of these elements may be added to the silver.

[0031]

The inventors of the invention have earnestly studied repeatedly to find that the silver-base thin film is held by the mixed oxides to form a transparent electrode with high reliability such as high transmittance and moisture resistance. The configuration of holding the silver-base thin film by the mixed oxides is effective for the reflector as well.

[0032]

That is, the invention related to claim 6 is characterized in that the base material of the transparent



oxide thin film is a mixed oxide of a cerium oxide and an indium oxide. As for the quantity of the cerium oxide added to the indium oxide, a cerium element can be selected from a wide range from 5 to 80 at% (atom percentage) at the metallic element conversion of indium and cerium (an oxygen element is not counted). In the case of a mixed oxide containing a large quantity of cerium, whose cerium content exceeds 80 at% (atom percentage), a sputtering target used in vacuum deposition is liable to break, and the conductivity of the target becomes lower, so that it is difficult to perform deposition by DC sputtering such as DC or RF-DC sputter. In consideration of workability using wet etching of a deposited conductive film having a three-layer structure and the conductivity (coping with DC sputtering) of the sputtering target, preferably the quantity of cerium element added is 10 to 40 at% (atom percentage). When a strong acid resistance is required for the transparent oxide thin film as a mixed oxide, it is preferable to use a mixed oxide whose quantity of added cerium element exceeds 40 at% (atom percentage).

[0033]

In the liquid crystal display device of the invention, a color display can be made by forming a color filter on at least one of substrates confronting with each other of two opposite substrates. In the case of forming the color filter on the substrate on the back side where the reflector is formed,

when the color filter is formed between the reflector and the substrate on the back side, the color filter is not seen from the observation surface, so the color filter is formed on the reflector. In this arrangement, in the case of forming the color filter on the reflector, it is impossible to make the effective use of low resistance ( $0.1$  to  $0.5 \Omega/\square$ ) of the reflector. Therefore, it is advantageous that the color filter is disposed on the transparent substrate side corresponding to the substrate on the observer's side.

[0034]

That is, the invention related to claim 7 is characterized in that a color filter layer is disposed between the transparent substrate and the electrode (the transparent electrode having a silver-base thin film 7 to 20 nm thick) of a three-layer structure on the substrate. As for the substrate to be used in the invention, it is not necessary to regulate the material, but glass, plastic board and film can be used. In the case of the film, a polarizing film, a phase film, a lens sheet and the like may be used as a substrate. Further, it is not necessary that limitations in color tone and material quality are not imposed on the back substrate, and the back substrate may be colored white, black and so on. Practically it is desirable to form an antireflection film, AG film or EMI film as an outermost layer of the display device of the invention.

[0035]

The three-layer electrode of the invention has a very low resistance, so it may be used to also serve as a signal line such as MIM and a display electrode for driving a transistor of a small TFT, thereby forming a liquid crystal display device.

[0036]

The silver-base thin film and the transparent oxide thin film can be both formed by sputtering, besides they can be deposited by vacuum evaporation process or vacuum deposition process such as ion plating. In deposition, the deposition condition such as the quantity of oxygen in the interior of a deposition apparatus is controlled to control the refractive index of the transparent oxide thin film to a certain extent. It is desirable that the substrate temperature in deposition is 180°C or lower, or room temperature. It is possible to improve the conductivity of a three-layer structure by performing annealing at a temperature of 150 °C or higher.

[0037]

As for the film thickness of the silver-base thin film of a three-layer structure used in the liquid crystal display device of the invention, the resistance value is a small matter, and it is favorable that in the case of TFT giving priority to the transmittance, the film is set thin as much as 6 to 12 nm, and in the case of giving priority to the resistance value

in respect of driving the liquid crystal, it is set thick as much as 12 to 16 nm.

[0038]

The liquid crystal used in the liquid crystal display device should not be regulated on TN, STN, BTN, OCB, homeotropic, guest-host, ferromagnetism, anti-ferromagnetism, high polymer dispersion and the like. The refractive index of liquid crystal in light transmission (in normally white TN and STN, the voltage is off) is preferably close to the refractive index of the substrate or low. Preferably the refractive indexes of the color filter, the orientation film, the polarizing film and the other members are close to the refractive index of the substrate, or low.

[0039]

According to the liquid crystal display device related to claims 1 to 7, the low-resistance electrode of a structure holding the silver-base thin film is used, or the high reflectance electrode is used in the reflector, whereby a bright reflection type display can be obtained without lowering of display grade due to crosstalk or shadowing.

[0040]

[Mode for Carrying Out the Invention]

The mode for carrying out the invention will now be described in the following embodiment.

[0041]

[Embodiment]

The embodiment of the invention will now be described in detail with reference to the attached drawings.

<Embodiment>

The liquid crystal display device according to the embodiment is, as shown in Fig. 1, so constructed that liquid crystal 3 is held by a transparent substrate 6 on which a light scattering film 5 and a transparent electrode 4 are stacked and a back substrate 1 on which a light reflector 2 is disposed. An orientation film is omitted and not illustrated. On the outside of the transparent substrate 6, that is, on the observer's side, a polarizing film 7 and a combination AR and AG film 8 are disposed.

[0042]

The transparent electrode 4 is formed in a stripe pattern with a width of 100  $\mu\text{m}$  and a pitch of 110  $\mu\text{m}$ , and the reflector 2 is formed with a width 320  $\mu\text{m}$  and a pitch of 330  $\mu\text{m}$  by patterning in the direction of intersecting perpendicularly to the transparent electrode 4. The transparent electrode 4 has a three-layer structure in which a silver-base thin film 10 with a film thickness of 15 nm is held with transparent oxide thin films 11 with a film thickness of 40 nm. Subsequently, the reflector 2 is so constructed that the side touching the back substrate 1 which is a glass substrate is a transparent oxide thin film 11 with a film thickness of 10 nm, the side on the

liquid crystal 3 is a transparent oxide thin film 11 with a film thickness of 40 nm, and a silver-base thin film 10 with a film thickness of 150 nm is held with the respective transparent oxide thin films 11 to constitute a three-layer structure. The transparent oxide thin film 11 is a mixed oxide with an indium oxide containing 30 at% (atom percentage) cerium oxide at the metallic element conversion, and the refractive index thereof is 2.24. The composition of the silver-base thin film 10 is a silver alloy containing 0.8 at% (atom percentage) copper.

[0043]

<Comparative Example>

As a comparative example, as shown in Fig. 4, a transparent electrode 52 and a transparent electrode 54 are formed of ITO with  $8 \Omega/\square$  and a film thickness of 240 nm, and a reflector 59 made of aluminum is used on the back of the back substrate 51 side to constitute a liquid crystal display device. When the liquid crystal display devices of the embodiment and the comparative example are compared in respect of the brightness, it is found that the embodiment is brighter by about 10% and the display grade is higher.

[0044]

Although an inferior display called shadowing, in which a displayed character is shadowed, is made in the comparative example, shadowing is not entirely observed in the embodiment.

Further, the comparative example has inferior visibility so that a liquid crystal displayed character is reflected in the reflector 59 made of aluminum on the back, so the character has double vision.

[0045]

[Advantage of the Invention]

According to the invention, the transparent electrode and the reflector respectively having the three-layer structure in which the silver-base thin film is held by the transparent oxide thin films with a high refractive index, whereby it is possible to provide the liquid crystal display device of a reflection type with a high reflectance by making the effective use of low resistance of the electrodes.

[0046]

Since the reflector is located inside the liquid crystal cell, the display character is not reflected in the reflector, so that the visibility can be heightened.

[0047]

According to the invention related to claims 3 and 4, since the light scattering layer is disposed inside the liquid crystal cell, there is little distance to the character displayed by liquid crystal so that blur of the displayed character can be prevented so as to obtain the effect of making a very clear display.

[0048]

According to the invention related to claim 5, it is possible to provide the liquid crystal display device including the electrode having various resistances in spite of low resistance by adding 3 at% (atom percentage) or less heterogeneous element.

[0049]

According to the invention related to claim 7, a color display can be simply made while making the effective use of the low-resistance electrode by disposing the color filter on the transparent substrate side on the observer's side.

[0050]

Brief Description of the Drawings:

Fig. 1 is a diagram showing the principal part of one embodiment of a liquid crystal display device according to the invention;

Fig. 2 is a graph showing an example of spectral characteristics of an electrode used in the liquid crystal display device of the invention;

Fig. 3 is a graph showing another example of spectral characteristics of an electrode used in the liquid crystal display device of the invention;

Fig. 4 is a diagram showing the principal part of an example of the conventional liquid crystal display device of a reflection type; and

Fig. 5 is a diagram showing an example of influence of



refractive index depending upon medium in calculating the spectral characteristics of an electrode used in the liquid crystal display device of the invention.

[Description of the Reference Numerals and Signs]

1, 51: back substrate  
2: reflector  
3, 53: liquid crystal  
4: transparent electrode  
5: scattering film  
6, 56: transparent substrate  
7, 55, 57: polarizing film  
8, 58: combination AR-AG film  
10: silver-base thin film  
11: transparent oxide thin film  
52, 54: transparent electrode  
10, 59: reflecting plate

[FIG. 2, 3, 5]

REFLECTANCE  $R(\%)$

WAVELENGTH (nm)

TRANSMITTANCE  $T(\%)$

[FIG. 5A, 5B]

CONDUCTIVE FILM

MEDIUM  $n = 1.5$

MEDIUM  $n = 1.0$

11, 11': SILVER THIN FILM